



再処理工場の保全支援活動における事故・故障の技術情報の活用に関する研究

著者	山? 悟
号	58
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	工博第004861号
URL	http://hdl.handle.net/10097/59008

氏名	やまざき さとる
授与学位	山崎 悟 博士（工学）
学位授与年月日	平成25年9月25日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科（博士課程）量子エネルギー工学専攻
学位論文題目	再処理工場の保全支援活動における事故・故障の技術情報の活用に関する研究
指導教員	東北大学教授 高橋 信
論文審査委員	主査 東北大学教授 高橋 信 東北大学教授 橋爪 秀利 東北大学教授 新堀 雄一 東北大学准教授 金 聖潤 東北大学准教授 人見 啓太郎

論文内容要旨

1. 序論

従来の安全工学における原子力安全の考え方は、発生した事象に対する原因究明による再発防止と未然防止を中心にしており、現実的な状況を考慮した場合その見直しが必要とされている。原子力安全における中心的な考え方に深層防護という概念があるが、深層防護の根底の考え方には安全のためには何層もの防護手段を施すことである。現実的にはそれぞれの階層の防護手段は完璧ではあり得ないので望ましくない事象は起こりえる。このような前提に立った場合、再処理工場のシビアアクシデントマネジメントは必要であり、そのための訓練も必要である。このような観点から、起こりうる事象の潜在リスクの定量的な評価が重要な役割を果たす。リスクは被害の大きさと頻度の積として定義されるが、従来の安全工学では事象が発生した場合、事象進行を安全な状態に管理できることを前提としている。ここで重要になるのは発生する可能性のある事象を予想し、監視・管理を実施し、安全な状態に維持することである。再処理工場の状態監視においては、従来回転機器の診断技術の対応策が検討され実施している。しかしながら、通常運転時の保全活動には、より高いレベルの保全方式を実現する必要がある。これを実現する具体的な方策の一つとして、日常業務における運転や保全業務における事象の未然防止の活動として RCM (Reliability-Centered-Maintenance) を実施が検討されている。RCM においては事象発生後の事後保全に加えて、状態監視などによる予防保全の考え方が必要である。予防保全の状態監視では、モニタリングにおいて何を監視すべきか、長期的な事象の推移や脅威にどのように対処するかという点が重要になる。さらに、何か起こるたびに学習することも必要である。何を監視すべきか事前に準備し、これが継続したときに何が起こるかことを想定して対応を検討することが重要になる。

以上の議論を踏まえて再処理工場では、通常時に発生した事象の技術情報の有効活用するための技術情報のデータベースが必要となる。本研究では、再処理工場において効率的な RCM を実現するために、発生事象のデータベースから技術情報を効率的に検索しリスク評価を行うという一連のシステムと、独自の JNFL-RCM

(FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) / FTA(Free Trade Agreement)) を実施するためのシステムを構築することを目的とした。

本研究では、以下の内容により構成される。

- (1)事象管理システムの開発
- (2)事象管理システムから技術情報を検索するシステムの構築
- (3)技術情報に基づくリスク評価システムの構築
- (4)RCM－FMEA/FTA 実施による保全方式の検討への適用検討

2. 事象管理システムの構築

本章では再処理工場の安全・安定操業において重要な役割を果たす、各発生部門で発生した事象を一元管理するためのデータベースのシステム開発について述べた。開発手法としては、本研究独自にユーザ参加型によるウォーターホールとアジャイルを組み合わせる複合型のシステム開発を実施した。さらにデータ登録画面の設計に関しては、ユーザの PC 操作におけるビデオ撮影および発話解析を行い、それに PC 履歴操作を組み合わせた評価を実施した。事象管理システムの開発では、データベースにおける事象を一元的に管理するために問題点を抽出して解決策を検討した。ユーザ参加からの意見を取り入れることで効率的なシステム開発が実現した。本研究で独自に採用した手法は、従来のウォーターホール型開発とアジャイル型開発の双方を取り入れた複合型開発モデルであり、ユーザ要求に従って優先度の高い機能から順に要件定義や設計を実現した。システム要件に誤りがないかをユーザと相互に確認し、開発途中でのユーザ要求の変化を柔軟に取り入れる方法により開発プロセスの効率化を図った。従来のユーザインターフェース設計における問題点を解決する手法として新たなユーザインターフェース評価手法を提案した。また、ユーザインターフェース設計では、開発前の仕様検討段階でユーザのニーズを取り入れてプロトタイプを開発した。これによりユーザインターフェース設計は、ユーザの意見を柔軟に取り入れたソフト開発が実現した。ユーザインターフェース評価では、アンケートによる主観情報と PC 操作履歴、発話分析を補完的に用いて評価を行うことで効率的なインターフェース改良が実現出来、本提案手法は十分に有効であるとの結果を得た。

3. 事象検索システムの構築

事象検索システムに登録された技術情報を効率的に抽出し、必要な情報を分類するために事象検索システムの構築を行った。情報の登録者や分類する分析者が複数で実施する場合、実務経験などが異なると分類にバラツキが生じる可能性がある。本研究では登録された文書内のキーワードの出現頻度を統計的に処理するテキストマイニング手法を活用する検索システムを構築した。従来のデータベースでは、膨大な過去事象から故障データを抽

出・分類を行うには、分析者の労力が大きいことから、事象検索の効率化を目的に事象検索システムを構築した。テキストマイニング手法による事象検索システムを構築することにより、キーワード抽出、分類、統計処理結果のカテゴリ可視化作業の作業効率の向上が図られた。再処理工場の主要な建屋(建屋数：15)の換気設備の故障データの抽出においては、事象の技術文書内のキーワードの出現頻度を統計的に処理するテキストマイニング技術を活用して効率的にデータの抽出、必要な情報の分類が実現できた。

分析者が類似事象の発生傾向を把握するための支援に関しては、例として前処理建屋のせん断機前処理建屋における油漏れ事象を取り上げ、この事象のもつ重大性やリスクの評価が適切に行えることを示し、さらに過去の遡って考えた場合、情報共有や伝達を行っていれば事故の未然防止ができた可能性あることを示した。従来のデータベースの事象検索と比較して、事象検索システムの構築により作業効率の大幅な向上が図れた。

4. 保全支援活動におけるリスク評価システムの構築

リスク評価では、重要な機器および操作・作業を選定し、故障モード、または、エラーモードを想定・抽出し、リスク（発生頻度×影響度）などから対策を検討し、予防保全・事後保全の保全方式において RCM 手法の適用の検討を行う。本章では、開発したシステムを用いて、再処理工場における過去事象から効率的に技術情報を検索し、統計処理を行い、「再処理工場の換気設備の RCM」に対して適用検討を行い、本研究成果の適用性を検証した結果について述べている。再処理工場では、アクティブ試験において重大なトラブル事象：「再処理工場前処理建屋における油漏れについて【公開版】」（HP 公表事象）が発生している。この事象は、事象発生後、原因究明、対策実施の試運転再開までの停止期間による社会的、経済的な影響が大きい事象であった。本研究ではもしも事象発生前に体系的なリスク評価が事前に実施され、必要な保全方式の検討がされていたならば、この事象を未然に防止できた可能性あったかという点に着目し分析を行った。前処理建屋のせん断機の油圧制御ユニットにおける RCM の適用検討を行い、事象の発生防止のために故障診断技術や定期検査などの保全方式の検討を行い、RCM の運用管理を確立するために実施手順を一般化してマニュアルにまとめた。

保全支援活動におけるリスク評価システムの構築において、リスク評価の必要性および RCM 手法の適用の検討を実施した。従来の定期点検を基本にした保全方式は、設備・機器の事象による一般公衆への確率論的安全評価（PSA）手法等をベースに決定した安全重要度に基づき、保全周期、状態監視保全、事後保全等から最も適切な保全方式を選定していた。本研究における再処理工場における RCM 手法の適用の試みとして、リスク評価対象は換気設備および油圧制御ユニットに対して保全方式、保全周期の検討を FMEA/FTA 解析ツールを使用して行った。さらに評価パラメータにおいて再処理工場の機器、設備の故障率データの整備方針を検討した。

結果として、RCM 手法を適用した保全方式の定量的な検討が可能であることを示した。今後は、RCM 手法に転換し、アベイラビリティ（稼働率）の向上、安全性の確保、保全コストの低減することを目指す必要がある。

ただし、運転や保全活動の実態をベースに RCM-FMEA 解析を行うためには機器故障率データを充実させ、その結果を保全支援計画に反映する必要がある。現在、アクティブ試験段階で常時運転している系統設備および機器の運転実績が不十分であることから、故障率を仮定して実施したが、今後、操業開始した後、運転経験を蓄積して機器故障率データを蓄積する必要性があり、これらのデータのデータベースを構築し、RCM 手法を効果的に適用することが必要である。

5. 結論

本研究の結論としては、再処理工場における RCM 手法の適用の試みとして、発生事象を登録し、処置および原因究明ならびに是正・予防処理の対策実施を管理する事象管理システム、登録事象のデータベースから必要な故障データ等の技術情報を効率的に検索し、統計処理を行う事象検索システムを構築した。さらに保全支援活動の保全方式の検討において、FMEA/FTA 解析ツールを使用したリスク評価システムを構築した。RCM 手法を適用した保全支援活動における保全方式の決定に関しては、再処理工場における実データに対する適用結果に基づき、その適用可能性を示すことができた。わが国の様々な一般産業やプラントにおける今後の保全方式の検討において、本研究で適用した RCM 手法を稼働率向上、安全性の確保、保全コストの低減のツールとして有効利用する方法論の一つとして寄与できることを期待する

論文審査結果の要旨

本論文では、再処理工場において最適な RCM を行う上で重要な要素となる発生事象のデータベースから、技術情報を効率的に検索しリスク評価を行うという一連のシステムのシステムを構築することを目的として行った研究であり、全 5 章からなる。

第 1 章は序論である。

第 2 章では、再処理工場の安全・安定操業において重要な役割を果たす、各発生部門で発生した事象を一元管理するためのデータベースのシステム開発について述べている。開発手法としては本研究独自にユーザ参加型によるウォーターホールとアジャイルを組み合わせた複合型のシステム開発手法を実施した。ユーザインターフェース設計では、開発前の仕様検討段階でユーザニーズを取り入れてプロトタイプを開発し、ユーザの意見を柔軟に取り入れたシステム開発を実現した。ユーザインターフェース評価では、アンケートによる主観情報と PC 操作履歴、発話分析を補完的に用いて評価を行うことで効率的なインターフェース改良が実施できたことを述べている。

第 3 章では、登録された技術情報を効率的に抽出し必要な情報を分類するために事象検索システムの構築について述べている。テキストマイニング手法による事象検索システムを構築することにより、キーワード抽出、分類、統計処理結果のカテゴリ可視化作業の作業効率の向上が図られ、再処理工場の主要な建屋(建屋数：15)の換気設備の故障データの抽出においては、事象の技術文書内のキーワードの出現頻度を統計的に処理するテキストマイニング技術の活用が実現でき、情報の分類にかかる時間が大幅に短縮できることを示した。

第 4 章では、保全支援活動におけるリスク評価システムの構築について述べている。通常リスク評価では、重要な機器および操作・作業を選定し、故障モード、またはエラーモードを想定・抽出し、リスク(発生頻度×影響度)などから対策を検討し、予防保全・事後保全の保全方式において RCM 手法の適用の検討を行う。開発したシステムを用いて、再処理工場における過去事象から効率的に技術情報を検索し統計処理を行い、「再処理工場の換気設備の RCM」に対して適用検討を行い、本研究成果の適用性を検証した結果を述べている。リスク評価対象としては、換気設備および油圧制御ユニットを選択し、保全方式、保全周期の検討を FMEA/FTA 解析ツールを使用して行い、評価パラメータにおいて再処理工場の機器、設備の故障率データの整備方針を検討した結果、RCM 手法を適用した保全方式の検討が可能であることを示した。

第 5 章では、本研究の総括として結論を述べるとともに、今後の研究課題を述べている。

以上要するに本論文は、再処理工場において最適な RCM を行う上で重要な要素となる発生事象のデータベースから技術情報を効率的に検索し、それに基づきリスク評価を行うという一連のシステムを構築し、その有効性を示したものであり、今後の原子力工学の発展に資するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。